



## Laser Er,Yb autorégulé en bruit d'intensité

Abdelkrim El Amili, Gaël Kervella, Mehdi Alouini

### ► To cite this version:

Abdelkrim El Amili, Gaël Kervella, Mehdi Alouini. Laser Er,Yb autorégulé en bruit d'intensité. Paris Optique 2013, COLOQ'13, Jul 2013, Paris, France. hal-01044991

**HAL Id: hal-01044991**

**<https://hal.science/hal-01044991>**

Submitted on 24 Jul 2014

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# LASER Er ,Yb AUTOREGULE EN BRUIT D'INTENSITE

Abdelkrim El Amili<sup>1</sup>, Gaël Kervella<sup>1</sup>, Mehdi Alouini<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut de Physique de Rennes, Université de Rennes 1, CNRS, Campus de Beaulieu, 35042  
Rennes, France,

[abdelkrim.elamili@univ-rennes1.fr](mailto:abdelkrim.elamili@univ-rennes1.fr)

## RÉSUMÉ

La réduction du bruit d'intensité d'un laser Er,Yb:Verre par absorption à deux photons intracavité est explorée expérimentalement et théoriquement. Les résultats montrent que le temps de réponse du processus à deux photons joue un rôle primordial sur le spectre de bruit d'intensité du laser. Un modèle théorique incluant une troisième équation d'évolution tenant compte de ce temps de réponse est proposé pour expliquer le comportement du laser.

**MOTS-CLEFS :** *Laser Er ,Yb; Bruit d'intensité ; absorption à deux photons*

## 1. INTRODUCTION

Les lasers à état solide à faible bruit présentent un grand intérêt pour un grand nombre de domaines tels que les communications optiques, la photonique microonde, la spectroscopie haute résolution et la métrologie. La plupart de ces applications nécessitent des sources laser ayant de très faibles largeurs de raie mais aussi de très faibles niveaux de bruit d'intensité sur une large bande spectrale. Bien que les lasers à état solide présentent de faibles largeurs spectrales, ils souffrent néanmoins d'un excès de bruit d'intensité au voisinage de la fréquence des oscillations de relaxation. Le phénomène d'oscillations de relaxation est inhérent aux lasers de classe-B dans lesquels la durée de vie de l'inversion de population est grande devant la durée de vie des photons dans la cavité. La réduction de ce bruit d'intensité résonant est habituellement obtenue d'une contre-réaction sur le laser de pompe. Une autre technique repose sur l'utilisation d'un laser semi-conducteur dans un régime de fonctionnement de classe A [1]. Une telle approche est, néanmoins, limitée en termes de puissance potentiellement accessible comparé à un laser solide. Or, il a été démontré récemment que l'insertion d'un mécanisme d'absorption à deux photons (TPA) dans un laser Er ,Yb:Verre produisait une réduction significative de bruit [2]. Nos observations expérimentales suggèrent que le temps de réponse du mécanisme d'absorption à deux photons joue un rôle essentiel sur le comportement du bruit d'intensité du laser. Nous démontrons ici comment ce temps de réponse peut être modélisé, et comment un tel modèle permet d'interpréter le spectre de bruit du laser.

## 2. RESULTATS EXPERIMENTAUX ET THEORIQUES

Nous avons développé un laser Er ,Yb mono-fréquence dans lequel une lame de silicium a été insérée pour induire des pertes nonlinéaires par TPA. L'insertion d'un tel élément dans le laser engendre des pertes optiques dépendantes de l'intensité intra-cavité. De ce fait, les pertes induites par le mécanisme de TPA conduisent à une réduction significative des fluctuations d'intensité du laser. Cette réduction est d'autant plus importante que le niveau de l'intensité intra-cavité est élevé. Pour étudier la façon dont les pertes nonlinéaires affectent l'excès de bruit résonant, nous avons mesuré le spectre de bruit d'intensité, à un taux de pompage fixe, en variant la densité de photons sur la lame de silicium (Fig. 1 (a)). Lorsque la densité de photons sur cette lame augmente, on observe bien une diminution du niveau de bruit. Cependant, il est accompagné d'un décalage du maximum vers les hautes fréquences. Nous montrons que ce comportement peut être décrit simplement en introduisant dans le système une équation d'évolution additionnelle qui régit les pertes par TPA (Eq.3) :

$$\frac{dN}{dt} = -2\sigma I N - (w_p + \gamma)N + (w_p - \gamma)N_E, \quad (1)$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{c}{2L} 2e\sigma I N - \gamma_e I - \gamma_{TPA} I, \quad (2)$$

$$\frac{dP_{TPA}}{dt} = \psi I - \gamma_p P_{TPA}. \quad (3)$$

Les équations (1) et (2) habituelles décrivent l'évolution de l'inversion de population et de l'intensité intra-cavité du laser. Dans l'équation (2),  $\gamma_{TPA}$  représente le taux de pertes nonlinéaires. L'équation (3), quant à elle, décrit l'évolution des pertes nonlinéaires qui dépendent de l'intensité intra-cavité du laser, de la section efficace d'absorption à deux photons et du temps de réponse du mécanisme. Ce modèle prédit que si le temps de réponse du processus d'absorption à deux photons est très court devant le temps caractéristique des oscillations de relaxation, alors le pic de résonance diminue sans décalage en fréquence. En revanche, si le temps de réponse du processus nonlinéaire est comparable au temps caractéristique des oscillations de relaxation, alors la réduction de bruit est moins efficace et elle est accompagnée d'un décalage en fréquence du pic. Comme l'illustre la figure 1 (a), ce modèle permet de prédire à la fois la réduction et le décalage du pic à la fréquence des oscillations de relaxation. Les fonctions de transfert théoriques sont, en effet, en très bon accord avec les spectres expérimentaux. En outre, nous trouvons que la durée de vie de recombinaison des porteurs dans la lame de silicium utilisée doit être de l'ordre de 3  $\mu$ s. Pour valider ce point, nous avons remplacé le silicium par une lame de GaAs intrinsèque dans laquelle le temps de recombinaison des porteurs est de l'ordre de la nanoseconde. Ainsi, le processus d'absorption à deux photons doit réagir instantanément aux fluctuations d'intensité du laser. Comme le prédit le modèle, lorsque la densité de photons augmente, on assiste bien à une diminution du pic des oscillations de relaxation mais sans décalage vers les hautes fréquences (Figure 1 (b)).

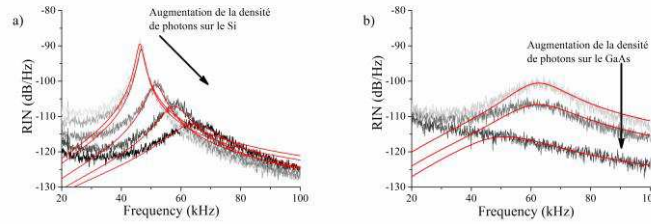


Fig. 1 : a) Spectres de bruit d'intensité relatif pour différentes densités de photons sur le Si. b) spectres obtenus avec une lame de GaAs. Les courbes en rouge représentent les fonctions de transfert théoriques.

## CONCLUSION

Nos études expérimentales et théoriques sur la réduction du bruit d'intensité d'un laser Er,Yb :Verre nous ont permis de comprendre comment le mécanisme de TPA gouverne le bruit d'intensité du laser [3]. En particulier, nous avons montré que le temps de réponse de ce mécanisme joue un rôle important dans l'allure du spectre de bruit du laser. Le très bon accord entre les résultats expérimentaux et théoriques permet de valider le modèle proposé dans lequel une équation d'évolution additionnelle est introduite.

## REFERENCES

- [1] G. Baili, M. Alouini, D. Dolfi, F. Bretenaker, I. Sagnes, and A. Garnache, "Shot-noise-limited operation of a monomode high-cavity-finesse semiconductor laser for microwave photonics applications," *Opt. Lett.*, vol. 32, pp. 650-652, 2007.
- [2] R. van Leeuwen, B. Xu, L. S. Watkins, Q. Wang, and C. Ghosh, "Low noise high power ultra-stable diode pumped Er-Yb phosphate glass laser," *Proc. SPIE* 6975, 2008.
- [3] A. El Amili, G. Kervella, and M. Alouini, "Experimental evidence and theoretical modeling of two-photon absorption dynamics in the reduction of intensity noise of solid-state Er:Yb lasers," *Opt. Express*, vol. 21, pp. 8773-8780, 2013.